

Спектроскопия заряженных дефектов в тонких слоях стеклообразного $\text{Ge}_{0.285}\text{Pb}_{0.15}\text{S}_{0.565}$

© Р.А. Кастро[¶], В.А. Бордовский, Н.И. Анисимова, Г.И. Грабко

Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена,
191186 Санкт-Петербург, Россия

(Получена 29 мая 2008 г. Принята к печати 20 июня 2008 г.)

На основании экспериментальных кривых изотермической релаксации темнового тока в тонких пленках стеклообразного полупроводника $\text{Ge}_{0.285}\text{Pb}_{0.15}\text{S}_{0.565}$ впервые проведен расчет функции распределения времен релаксации, ее основных параметров и энергетического распределения плотности состояний заряженных дефектов. Полученные результаты подтверждают предположения о существовании в исследуемой системе недебаевского механизма дисперсии в интервале инфранизких частот и могут быть использованы для дальнейшего исследования электронных свойств неупорядоченных полупроводников.

PACS: 71.23.Cq, 71.55.Jv, 73.61.Jc

Результаты изучения многих классов веществ — полимеров, жидких диэлектриков, халькогенидных стеклообразных полупроводников (ХСП) и др. указывают на существование релаксационных спектров со значительными отклонениями от классического „дебаевского“ механизма дисперсии. Эти отклонения принято интерпретировать на основе представлений о размытом диэлектрическом спектре, существование которого может быть обусловлено как наличием релаксирующих объектов с несколько различающимися (но близкими) значениями времен релаксации τ_i , так и взаимодействием различных релаксаторов. В качестве таких релаксаторов, как правило, выступают атомы, молекулы, группы атомов, дефекты структуры и др. Указанные релаксаторы могут создавать непрерывный набор (спектр) времен релаксации.

Как известно, в роли таких дефектов в стеклообразных системах, между которыми происходит обмен электронами при переносе и накоплении заряда, могут выступать центры типа D^+ и D^- , являющиеся центрами с отрицательной корреляционной энергией [1]. Для системы $\text{Ge}_{0.285}\text{Pb}_{0.15}\text{S}_{0.565}$ методами термоактивационной спектроскопии, в интервале температур $T = 260\text{--}280\text{ K}$, установлено существование состояний дефектов с энергией активации 0.43 эВ, концентрация которых составляет $\sim 10^{16}\text{ см}^{-3}$ [2]. Дальнейшее исследование спектра состояний дефектов в германиевых халькогенидных стеклообразных и аморфных структурах является перспективным с научной точки зрения, а также является актуальным в связи с усилившимся, особенно в последнее время, вниманием к ним как объекту практического применения в современной оптоэлектронике [3].

Цель данной работы — исследование спектра релаксаторов в тройной системе $\text{Ge}_{0.285}\text{Pb}_{0.15}\text{S}_{0.565}$ и расчет энергетического распределения плотности заряженных дефектов, отвечающих за процессы долговременной изотермической релаксации в данном полупроводнике.

Измерения изотермической релаксации (ИТР) темнового тока проводились на пленках состава $\text{Ge}_{0.285}\text{Pb}_{0.15}\text{S}_{0.565}$ толщиной $\sim 1.0\text{ мкм}$, изготовленных методом термического испарения в вакууме. Образцы имели сэндвич-конфигурацию с алюминиевыми электродами и площадью контактов 14.0 мм^2 . Кривые ИТР регистрировались с применением электрометрического усилителя В7-30 (диапазон измеряемых токов обеих полярностей от 10^{-15} до 10^{-7} А), источника стабилизированного напряжения (измерения проводились в области полей $E = 10^2\text{--}10^4\text{ В/см}$). Во время измерений температура менялась в пределах $294\text{--}344\text{ K}$ [4].

Кривые спада тока для образцов $\text{Ge}_{0.285}\text{Pb}_{0.15}\text{S}_{0.565}$ при разных температурах показаны на рис. 1. Для большинства образцов наблюдается гиперболическая зависимость вида $I = At^{-n}$ ($n = 0.39\text{--}0.83$) при разных температурах. Обнаруженный гиперболический характер спада темнового тока в пленках ХСП исследуемых систем указывает на отклонение от экспоненциального дебаевского механизма дисперсии $I(t) \propto \exp(-t/\tau)$, связанное с существованием набора релаксаторов со спектром времен релаксации τ_i . Данное обстоятельство

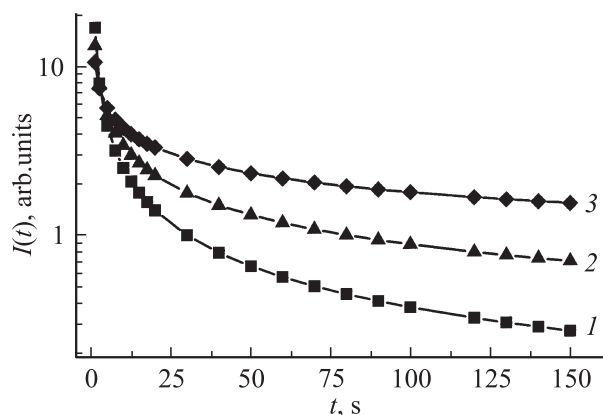


Рис. 1. Спад темнового тока в слоях стеклообразного $\text{Ge}_{0.285}\text{Pb}_{0.15}\text{S}_{0.565}$ при температурах T , К: 1 — 295, 2 — 306, 3 — 315; $U = 0.6\text{ В}$.

[¶] E-mail: recastro@fromru.com

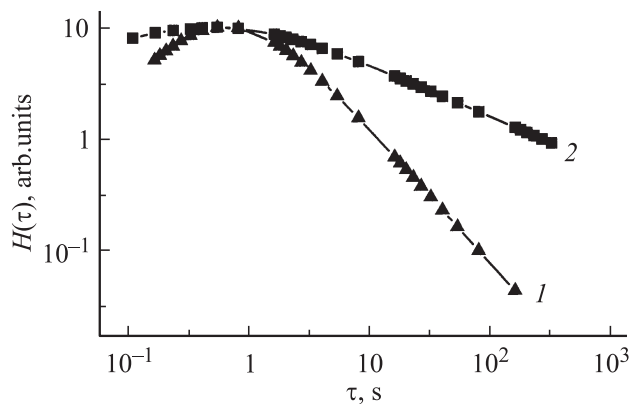


Рис. 2. Функция распределения времен релаксации для ХСП двух составов. 1 — As_2Se_3 , 2 — $\text{Ge}_{0.285}\text{Pb}_{0.15}\text{S}_{0.565}$.

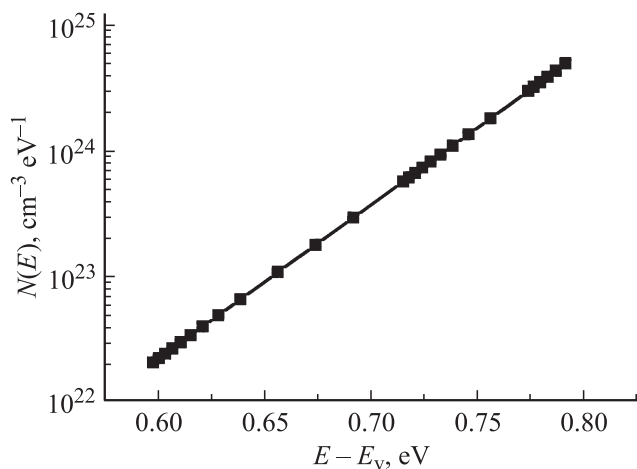


Рис. 3. Плотность $N(E)$ локализованных состояний дефектов, определяющих зарядовые релаксационные процессы в слоях стеклообразного $\text{Ge}_{0.285}\text{Pb}_{0.15}\text{S}_{0.565}$.

позволило нам использовать экспериментальные кривые $I = f(t)$ для определения вида функции распределения времен релаксации (ФРВР) [4].

Вид ФРВР для системы $\text{Ge}_{0.285}\text{Pb}_{0.15}\text{S}_{0.565}$ показан на рис. 2. В отличие от аналогичных зависимостей для системы As_2Se_3 [4] обнаружено существование более широкого максимума и более плавного изменения распределения релаксаторов при удалении от значения наиболее вероятного времени релаксации $\tau_{\text{пр}}$. Это может быть связано с тем, что релаксация темного тока в системе Ge–Pb–S обусловлена существованием глубоких ловушек как для дырок, так и для электронов [5]. Для данного состава получены значения параметров дисперсии: $b = 0.76$ и $\tau_0 = 0.55$ при комнатной температуре.

Получены результаты выявляют основную особенность спада поляризационного тока в данном временном интервале для ХСП: быстрый спад на начальном участке, а потом более медленная релаксация до достижения стационарного значения тока $I_{\text{ст}}$.

На основе полученных значений ФРВР, пользуясь методикой [6], рассчитано энергетическое распределение заряженных состояний дефектов в исследуемой полупроводниковой системе. Плотность локализованных состояний $N(E)$, определяющих зарядовые релаксационные процессы в данном временном интервале, выражается формулой

$$N(E) = \frac{\tau H(\tau) \Delta C(0) U}{Vq},$$

где $H(\tau)$ — функция распределения времен релаксации, $\Delta C(0)$ — изменение емкости для времени $t = 0$, U — напряжение, V — объем исследуемой структуры. На рис. 3 представлена рассчитанная плотность заряженных локализованных состояний как функция от энергии — $N(E)$. Обнаружено экспоненциальное уменьшение числа состояний дефектов на единицу объема при удалении от дна зоны проводимости в пределах $N(E) = 10^{22} - 10^{25} \text{ см}^{-3} \text{ эВ}^{-1}$.

Сопоставление литературных данных с результатами данной работы позволяет предположить, что релаксационные процессы в слоях $\text{Ge}_{0.285}\text{Pb}_{0.15}\text{S}_{0.565}$ могут быть связаны с существованием центров с отрицательной корреляционной энергией типа D^+ и D^- . Известно, что в системе Ge–Pb–S верхняя часть валентной зоны формируется связывающими орбиталями валентных связей, в которых участвуют атомы Ge и Pb [5]. Уровни неподеленных пар попадают достаточно глубоко в валентную зону и не играют такой существенной роли в формировании края этой зоны, как в халькогенидах мышьяка. Зона проводимости Ge–Pb–S формируется антисвязывающими орбиталями. Беспорядок в углах и длинах связей, характерный для стеклообразного состояния, приводит к возникновению хвостов плотности состояний вблизи краев зон. Чем глубже простирается хвост плотности состояний, тем больше характерная энергия активации носителей заряда из локализованных состояний в делокализованные состояния и тем меньше подвижность носителей заряда, ограниченная захватом на эти состояния.

Таким образом, на основании экспериментальных кривых изотермической релаксации темного тока в тонких пленках стеклообразного $\text{Ge}_{0.285}\text{Pb}_{0.15}\text{S}_{0.565}$ впервые проведен расчет функции распределения времен релаксации и ее основных параметров. Обнаруженные особенности ФРВР выявляют ее структурную чувствительность, что может быть использовано для дальнейшего исследования электронных свойств ХСП, и подтверждают предположение о существовании в ХСП недебаевского механизма дисперсии в интервале инфранизких частот. Обнаружено экспоненциальное уменьшение плотности локализованных заряженных состояний дефектов при удалении от дна зоны проводимости.

Список литературы

- [1] N.I. Anisimova, G.A. Bordovsky, V.A. Bordovsky, R.A. Castro. *Rad. Eff. Def. Solids (REDS)*, **156**, 359 (2001).
- [2] G.A. Bordovsky, V.A. Bordovsky, N.I. Anisimova, R.A. Castro, V. Seldjaev. *Abstracts II Int. Materials Symp. (Materials 2003)*, April 2003 (Carpica, Portugal) p. 59.
- [3] A.V. Kolobov, P. Fons, A.I. Frenkel, A.L. Ankudinov, J. Tominaga, T. Uruga. *Nature Mater.*, **3**, 703 (2004).
- [4] Г.А. Бордовский, Р.А. Кастро. *Изв. РГПУ им. А.И. Герцена*, № 2 (4), 7 (2002).
- [5] С.Д. Барановский, Г.А. Бордовский, Л.П. Казакова, Э.А. Лебедев, В.М. Любин, Н.А. Савинова. *ФТП*, **18** (6), 1016 (1984).
- [6] G.A. Bordovsky, V.A. Bordovsky, R.A. Castro. *Abstracts 1st Int. Conf. on Dielectric Spectroscopy (DS 2001)*, 12–15 March 2001 (Jerusalem, Israel), p. 95.

Редактор Т.А. Полянская

Charge defects spectroscopy for glassy

Ge_{0.285}Pb_{0.15}S_{0.565} thin layers

R.A. Castro, V.A. Bordovsky, N.I. Anisimov, G.I. Grabko

Herzen Russian State Pedagogical University,
191185 St. Petersburg, Russia